Journal of Agricultural Machinery
Vol. 8, No. 2, Fall - Winter 2018, p. 263-277

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۸، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۷، ص ۲۷۷-۲۶۳

تأثیر نوع عملیات و دور موتور بر ارتعاشات ارّه موتوری

مسعود فیضی[۱*] - علی جعفری[۲] - حجت احمدی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۹/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۷/۲۳

چکیده

با توجه به کاربرد گسترده ارّه موتوری و اهمیت بالای مطالعه عوامل مؤثر بر ارتعاشات آن، به بررسی تأثیر نوع چوب و دور موتور بر ارتعاشات یک نوع ارّه موتوری پرداخته شد. مطالعه بر روی سه نوع چوب راش، ممرز و توسکا، منتخب از جنگل‌های شمال ایران، صورت گرفت. برخلاف مطالعات قبلی یک حالت بدون برش نیز به‌عنوان تیمار شاهد به آزمایش‌ها اضافه گردید. همچنین ارتعاشات در سه دور مختلف حین برش چوب اندازه‌گیری شد. سپس، سیگنال‌های ارتعاشی مطابق با استانداردهای بین‌المللی تجزیه و تحلیل شدند. نتایج نشان داد که هر چند نوع عملیات بر میزان شتاب ارتعاش وزن‌دار شده فرکانسی تأثیر معنی‌داری نداشته است، امّا برش چوب سبب افزایش میزان شتاب ارتعاش وزن‌دار نشده در فرکانس‌های پایین و کاهش آن در فرکانس‌های بالا شده است. همچنین تأثیر دور موتور و جهت بر میزان شتاب ارتعاش وزن‌دار شده فرکانسی، در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. افزایش دور موتور، سبب افزایش در میزان شتاب ارتعاش وزن‌دار شده فرکانسی گردید.

واژه‌های کلیدی: احتراق، ارّه موتوری، باندهای یک سوم اکتاو، شتاب ارتعاش وزن‌دار شده فرکانسی

مقدمه

بهره‌برداری جنگل، شامل قطع درخت تا تحویل چوب به کارخانه، یکی از فعالیت‌های ضروری مدیریت جنگل است (Jourgholami *et al.*, 2013). قطع درخت بخش مهمی از این عملیات را تشکیل می‌دهد که شامل تمام فعالیت‌هایی است که در جهت انداختن درختان سرپا و آماده نمودن آن برای چوبکشی انجام می‌گیرد. مطابق با گزارش سازمان بین‌المللی کار[۳]، قطع درخت یکی از خطرناک‌ترین عملیات‌های صنعتی است (Jourgholami *et al.*, 2012). با توجه به شرایط و ویژگی‌های جنگل‌های ایران، قطور و پهن برگ بودن درختان، توپوگرافی و سایر عوامل، مکانیزاسیون در این جنگل‌ها به‌خوبی رشد نیافته و بخش اعظم عملیات قطع و تبدیل درخت به‌وسیله ارّه موتوری انجام می‌گیرد (Sarikhani, 2009). ارّه موتوری یک ماشین قابل حمل است که نیروی محرکه آن توسط یک موتور تک سیلندر دو زمانه تأمین می‌گردد. با افزایش دور موتور، کلاچ گریز از مرکز، عمل کرده و حرکت میل‌لنگ سبب گردش یک زنجیر حامل تیغه‌های برّنده می‌گردد. یک نمونه از این ماشین، مشابه با آنچه که در این تحقیق مورد استفاده قرار گفته است؛ با معرفی اجزای آن در شکل ۱ نشان داده شده است. این ماشین، به‌صورت گسترده برای کارهایی چون قطع درختان و شاخه‌زنی در جنگل، قطع‌زنی گرده بینه در جنگل و کارخانه‌های چوب‌بری و حتی برش طولی گرده بینه مورد استفاده قرار می‌گیرد (Latibari, 2007). قطع درخت با ارّه موتوری شامل مزایایی از قبیل عدم محدودیت نسبت به شیب عرصه و اندازه درخت بوده و در مقابل، معایبی چون کنترل کم‌تر درخت قطع شده برای کاهش شکستگی و آسیب به توده با قیمانده نیز وجود دارد؛ امّا در استفاده از ارّه موتوری، مهم‌ترین نگرانی از بابت سلامتی کاربر و دستیار آن است (Jourgholami *et al.*, 2012).

شاید در نگاه اول خطراتی از قبیل برخورد زنجیر ارّه یا درخت و شاخه‌ها به کاربر ارّه موتوری مهم‌ترین عامل تهدید سلامتی وی به چشم آید؛ امّا عواملی مانند امکان مسمومیّت‌های شدید و خفگی و نیز صدا و ارتعاشات این وسیله به‌صورت پنهان و بسیار جدی سلامت کاربر را تهدید می‌کنند. در این میان ارتعاشات سهم بزرگتری دارد، تا جایی که به دلیل دو عیب صدا و ارتعاش، هیچ ارّه موتوری علامت F. P. A. (نشانهٔ قبول و توسعهٔ ابزار و وسایل کار جنگل) را از طرف مؤسسه بررسی وسایل جنگل در آلمان به‌دست نیاورده است (Sarikhani, 2009).

۱- دانشجوی دوره دکتری مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
۲- استاد، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: masoudfeyzi@tabrizu.ac.ir)
DOI: 10.22067/jam.v8i2.60794
3- International Labour Office (ILO)



شکل ۱- ارّه موتوری و اجزای آن
Fig.1. Chainsaw and its components

ارتعاشات به‌طور کلی می‌تواند سبب ناراحتی، تداخل در فعالیت و اختلال در سلامتی گردد (Yue and Mester, 2002). از تأثیرات ارتعاشات بر سلامتی فرد می‌توان به اختلال در سیستم عصبی مرکزی و سیستم‌های گردش خون و ادرار اشاره نمود (Wakeling *et al.*, 2002). به دلیل انتقال ارتعاش به دست‌ها و بازوها از طریق دسته‌های ارّه موتوری معمولاً عارضه‌ای تحت عنوان انگشت سفید[1] در کاربران این وسیله بروز می‌کند (Laroche, 1976). بی‌حسی موضعی و کاهش قدرت چنگش و عملکرد در انگشتان، ضعف ماهیچه‌ای و درد در بازو و شانه‌ها نشانه‌هایی از این بیماری هستند (Selim *et al.*, 2012). علائم دیگری چون سر درد، زود رنجی، پریشان‌حالی، فراموش‌کاری و مشکلات خواب هم به‌عنوان مشکلات بعدی این عارضه معرفی شده‌اند (Sauni *et al.*, 2010).

ارتعاشات وارد بر بدن انسان به‌طور کلّی به دو دسته ارتعاشات تمام بدن و ارتعاشات دست- بازو تقسیم می‌شوند. در زمینه ارتعاشات تمام بدن، مطالعاتی بر روی ماشین‌های مختلف از جمله اتومبیل‌ها، بالابرها، کامیون‌ها، اتوبوس‌ها (Paddan and Griffin, 2002)، ون‌ها (Burdorf and Swuste, 1993; Paddan and Griffin, 2002)، لیفت‌تراک‌ها (Burdorf and Swuste, 1993)، تراکتورهای کشاورزی (Burdorf and Swuste, 1993; Mehta *et al.*, 2000; Paddan and Griffin, 2002; Taghizadeh Ali Saraei *et al.*, 2007)، کمباین‌های برداشت (Hostens and Ramon, 2003) و تراکتورهای دو چرخ (Ahmadian *et al.*, 2014; Taghizadeh Ali Saraei *et al.*, 2010) انجام گرفته است. در زمینه ارتعاشات دست- بازو که موضوع بحث در اینجاست نیز، مطالعات مختلفی صورت گرفته است. برآورد اپیدمیولوژیک کارکنان کارخانه کشتی‌سازی نشان داد که شیوع علائم انگشت سفید در کارگرانی که با کوبنده‌های نیوماتیک کار می‌کنند بیش از ۱۰ برابر کارگرانی است که با وسایل مرتعش دستی سروکار ندارند (Letz *et al.*, 1992). نتایج مطالعه بر روی تراکتور دو چرخ در ایران نشان داد که بیشترین ارتعاش از دستهٔ این ماشین به دست راننده منتقل شده و بیشترین فشاری کاری به مچ دست وارد می‌گردد (Taghizadeh Ali Saraei *et al.*, 2010). در مطالعات مختلفی در زمینه ارتعاشات دست- بازو، قله‌های شتاب ارتعاش منطبق بر فرکانس‌هایی بوده‌اند که ضرایب صحیحی از دور موتور بودند، به عبارتی در بسیاری از موارد ضربات احتراق موتور، عامل اصلی ارتعاشات هستند (Feyzi *et al.*, 2016b; Hutton *et al.*, 1993; Ko *et al.*, 2011; Taghizadeh Ali Saraei *et al.*, 2010). مطالعات نشان داده‌اند که اجزای بدن ارتعاشات را حین انتقال، میرا می‌کنند، امّا میرایی در فرکانس‌های بالاتر بیشتر است. یعنی بافت‌های بدن ارتعاشات با فرکانس‌های بالاتر را بهتر از ارتعاشات با فرکانس‌های پایین‌تر میرا می‌کنند (Ahmadian, 2012; Feyzi *et al.*, 2016a). تحقیقاتی نشان داده‌اند که دستگیره ضد ارتعاش می‌تواند میزان ارتعاشات منتقل شده به دست را کاهش دهد (Dewangan and Tewari, 2009a; Pourabdian *et al.*, 2010)، امّا تمامی دسته‌ها نمی‌توانند به نحو مؤثر سبب کاهش ارتعاشات شوند (Ko *et al.*, 2011).

همانطور که گفته شد؛ ارّه موتوری کاربر خود را در معرض سطح بالایی از ارتعاشات قرار می‌دهد (Sarikhani, 2009; Feyzi *et al.*, 2016b). مطالعات انجام شده بر روی کاربران این ماشین، بیانگر ابتلای درصد بسیار بالایی از آن‌ها به عارضه‌های ارتعاشی هستند. وزارت کار کشور ژاپن در سال ۱۹۶۵ و آژانس ملی کارمندان این کشور در سال ۱۹۶۶ رسماً انگشت سفید را در میان کاربران ارّه موتوری به‌عنوان یک عارضه حرفه‌ای اعلام نمودند (Yadama and Sakakibara, 1994). نتایج مطالعه‌ای نشان داد که میزان شیوع

1- White Finger Syndrome

عارضه انگشت سفید در کاربرانی که بیش از ۲۰ سال سابقه کار با ارّه موتوری داشتند بالاتر از ۵۰٪ بود (Theriault *et al.*, 1982). یافته‌های حاصل از مطالعه‌ای که بر روی مفاصل شانه و آرنج و استخوان‌های مچ و دست ۳۵ نفر چوب‌بر (۳۰ نفر از آن‌ها بین ۷ تا ۲۰ سال سابقه کار با ارّه موتوری داشتند) انجام شده بود نشان داد که ۸۹٪ از آن‌ها سابقه عارضه‌های ارتعاشی دارند (Kumlin *et al.*, 197. تحقیقی که بر روی ارّه موتوری‌های مختلف با حجم سیلندر بین ۸۱ تا ۱۲۲ سی‌سی انجام شده بود نیز نشان داد که اگر بیشینه ارتعاش تنها در یک جهت در نظر گرفته شود و با فرض اینکه کاربر این ارّه‌ها روزانه دو ساعت در معرض ارتعاشات باشند، بین ۳/۱ تا ۴/۱ سال طول می‌کشد که در ۱۰٪، بین ۵/۷ تا ۷ سال طول می‌کشد که در ۳۰٪ و بین ۷/۴ تا ۹/۱ سال طول می‌کشد که در ۵۰٪ افراد، عارضه انگشت سفید نمایان شود (Hutton *et al.*, 1993). اندازه‌گیری ارتعاشات بر روی دسته‌های عقب و جلوی یک ارّه موتوری با حجم موتور ۴۰/۲ سی‌سی با وجود مجهز بودن آن به سیستم ضد ارتعاش، نشانگر سطح بالای این ارتعاشات بود (Feyzi *et al.*, 2016b). در نتیجه، بررسی سطح و ویژگی‌های ارتعاشات این ماشین به نوبه خود حائز اهمیّت است و شناسایی عوامل مؤثر بر ارتعاشات این ماشین به اندازه کافی مهم جلوه می‌کند. با توجه به نتایج مطالعات قبلی، مبنی بر اینکه عامل اصلی ارتعاشات ارّه موتوری، ضربات احتراق آن می‌باشد (Feyzi *et al.*, 2016b; Hutton *et al.*, 1993) و نیز میرایی متفاوت ارتعاشات با فرکانس‌های مختلف توسط اعضای بدن (Ahmadian, 2012; Feyzi *et al.*, 2016a)، می‌توان نتیجه گرفت که یکی از عوامل مؤثر بر ویژگی‌های ارتعاشات دست- بازو در این ماشین دور موتور آن حین کار می‌باشد. از طرفی به نظر می‌آید که یکی از عوامل مهم در ارتعاشات این وسیله، برخورد تیغه‌های آن با چوب باشد. نوع چوب، خواص برشی را تحت تأثیر قرار داده و از این طریق ممکن است بر ارتعاشات تأثیر داشته باشد (Hutton *et al.*, 1993). تحقیق انجام گرفته در مورد صدای این وسیله نشان داده است که صدای ارّه موتوری در جنگل هنگام قطع گونه‌های مختلف درخت متفاوت است (Sorayaei *et al.*, 2014). در مطالعه‌ای که بر روی چوب‌های صنوبر سیاه و سفید[1]، صنوبر نروژی[2] و راش اروپایی[3] انجام شده بود نتایج نشان داد که جذر میانگین مربعات[4] شتاب ارتعاش کلّی در حالت‌های مختلف برش با هم تفاوت معنی‌دار نداشته است. امّا منحنی پاسخ فرکانس دارای تفاوت چشمگیر بود. شتاب ارتعاش وزن‌دار شده فرکانسی مربوط به برش چوب راش از دو حالت دیگر بیشتر بود. امّا تفاوت معنی‌داری بین دو گونه دیگر چوب مشاهده نشد (Rottensteiner *et al.*, 2012).

با توجه به گستردگی کاربرد ارّه موتوری و نیز اهمیت بالای شناخت عوامل مؤثر بر ارتعاشات این ماشین، در این مطالعه به بررسی برخی پارامترها پرداخته شد. پرسش اصلی تحقیق این است که نوع چوب مورد برش چگونه میزان و خصوصیات ارتعاشات ارّه موتوری حین برش در دور موتورهای مختلف را تحت تأثیر قرار می‌دهد. لذا، بر خلاف مطالعات قبلی که کنترلی بر روی دور موتور صورت نگرفته و یا ارتعاشات در حالت بدون برش اندازه‌گیری و تحلیل شده‌اند، در مطالعه حاضر، به بررسی ارتعاشات در سه دور موتور مختلف ضمن برش چوب پرداخته شده است. همچنین به منظور استخراج اثرات برش چوب بر ارتعاشات، یک حالت بدون برش نیز به‌عنوان تیمار شاهد به آزمایش‌ها اضافه گردید. محققان قبلی علاوه بر اشاره به اهمیت بررسی ارتعاشات ارّه موتوری‌های متفاوت حین برش گونه‌های مختلف چوب، مطالعه تأثیر این عوامل در حالت‌های گوناگون برش را نیز پیشنهاد نموده‌اند (Rottensteiner *et al.*, 2012). در این مطالعه سعی شد ضمن کنترل طول چوب درگیر با زنجیر ارّه که خود می‌تواند عامل بسیار مهمی در ارتعاشات باشد، اندازه‌گیری ارتعاشات در حالت نزدیک به برش درخت انجام شود. چوب‌های مورد آزمایش، از چوب‌های جنگلی شمال ایران که به لحاظ فراوانی رتبه‌های اول تا سوم را به خود اختصاص داده‌اند، انتخاب شدند. پس از تحلیل سیگنال‌های ارتعاشی بر اساس استانداردهای بین‌المللی و نیز تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها، اثر دور موتور و نوع چوب مورد برش و نیز اثر متقابل آن‌ها بر میزان ارتعاشات در جهت‌های مختلف مورد بررسی و بحث قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

ارّه موتوری استفاده شده در این تحقیق از نوع Stihl-070 بود. این نوع ارّه موتوری با توجه به طول تیغه و قدرت موتور، در جنگل‌های شمال کشور جهت قطع درخت، بینه بری و حتی الوار نمودن چوب کاربرد فراوانی دارد. مشخصات این ارّه موتوری در جدول ۱ آورده شده است.

در کارهای قطع درخت معمولاً از دور نهایی ارّه موتوری و دروهای نزدیک به این دور، در هنگام برش استفاده می‌گردد. لذا این پژوهش، بر روی سه دور موتور شامل دور نامی، دور نهایی و یک دور که مقدار آن مابین دور نامی و دور نهایی بود، انجام شد. دور نامی و نهایی ارّه استفاده شده، به‌ترتیب برابر با ۶۰۰۰ و ۸۶۳۰ دور بر دقیقه بودند. هنگامی که اهرم گاز تا انتها فشرده می‌شد، دور موتور برابر با ۸۶۳۰ دور بر دقیقه بود.

1- Black Poplar
2- Norway Spruce
3- European Beech
4- Root Mean Square

جدول ۱- مشخصات ارّه موتوری Stihl- 070

Table 1- Specifications of stihl-070 model chainsaw

پارامتر **Parameter**	مشخصه **Specification**
نوع موتور Engine Type	اشتعال جرقه‌ای، تک سیلندر، دو زمانه، هوا خنک Spark-Ignition Engine, Single Cylinder, Two Stroke, Air Cooled
حجم جابه‌جایی موتور Engine Displacement Volume	۱۰۵/۷ سی‌سی 105.7 cc
دور نامی Nominal Speed	۶۰۰۰ دور در دقیقه 6000 RPM
توان در دور نامی Power in Nominal Speed	۶/۵ اسب بخار 6.5 hp
طول تیغه Guide Bar	۹۰ سانتی‌متر 90 cm

با استفاده از یک دورسنج الکتریکی دیجیتالی -ARMA ETI TACHO با قابلیت اندازه‌گیری در محدوده ۰/۵ تا ۹۹۹۹۹ دور بر دقیقه، دقت ۰/۰۵ درصد و قدرت تفکیک‌پذیری ۰/۱ دور بر دقیقه، دور موتور قرائت می‌گردید. ابتدا جهت کنترل بهتر اهرم گاز، گیره‌ای بر روی آن بسته شد که با سفت نمودن آن اهرم گاز نیز فشرده می‌گردید و دور موتور بالا می‌رفت. سپس ضمن اندازه‌گیری مداوم دور موتور با استفاده از دورسنج، به تدریج دور موتور تا ۶۰۰۰ دور بر دقیقه بالا برده شد. در این حالت سوراخی بر روی اهرم گاز ایجاد شد. با بستن یک پیچ و مهره بر روی این سوراخ، فشردن اهرم گاز تنها تا حد تأمین دور موتور نام‌برده ممکن بود. سوراخ دیگری نیز به منظور تأمین دور موتوری بالاتر از دور نامی (۶۰۰۰ دور بر دقیقه) و کمتر از دور نهایی (۸۶۳۰ دور بر دقیقه)، بر روی اهرم ایجاد شد. پس از بستن پیچ و مهره بر روی این سوراخ، دور موتور متناظر با آن اندازه‌گیری شد که برابر با ۷۷۲۰ دور بر دقیقه بود. در طول آزمایشات برای تنظیم دور موتور در دور ۶۰۰۰ و ۷۷۲۰ دور بر دقیقه، پیچ و مهره به‌ترتیب روی سوراخ‌های ذکر شده بسته می‌شد و در دور موتور ۸۶۳۰ دور بر دقیقه، پیچ و مهره باز می‌شد. در تمامی حالت‌ها از کاربر خواسته می‌شد تا اهرم گاز را تا انتها فشار داده تا دور موتور مورد نظر تأمین گردد (شکل ۲).

حدود ۷۰ درصد از حجم کل درختان جنگل‌های شمال ایران را درختان راش، ممرز و توسکا تشکیل می‌دهند که به‌ترتیب با فراوانی حجم ۳۳، ۲۶ و ۹ درصد، رتبه‌های اول تا سوم درختان این جنگل‌ها را به خود اختصاص داده‌اند (Arastoo, 2007). لذا پژوهش حاضر بر روی این سه نوع چوب جنگلی انجام شد. با توجه به اینکه طولی از تیغه که با چوب درگیر می‌شود در مقادیر ارتعاشات مؤثر است، لذا در این آزمایش از قطعات چوب برش داده شده با مقطع مربعی و با اندازه‌های برابر استفاده شد. برای این منظور سه قطعه چوب به ابعاد ۲۵*۲۵*۲۰۰ سانتی‌متر مکعب از تنه اصلی درخت در محلّی بدون گره، پیچیدگی الیاف و پوسیدگی، در فصل بهره‌برداری از جنگل تحقیقاتی دانشگاه تهران واقع در خیرود کنار نوشهر تهیه گردید. سعی شد که آزمایش‌ها تا حد امکان در شرایط شبیه به شرایط برش درخت انجام گیرد، لذا چوب‌های مورد استفاده، کاملاً تازه بوده و تقریباً هیچ رطوبتی از دست نداده بودند. جهت حفظ رطوبت، چوب‌های بریده شده در جنگل بلافاصله بعد از برش در نایلون پیچیده شده (شکل ۳) و به سردخانه گروه مهندسی باغبانی و فضای سبز دانشگاه تهران منتقل شدند. دمای سردخانه بین ۲ تا ۴ درجه سلسیوس بود تا ضمن جلوگیری از تبخیر آب میان بافتی چوب‌ها، از یخ زدن آن‌ها نیز جلوگیری به عمل آید. همچنین رطوبت نسبی در سردخانه بین ۸۵ تا ۹۰ درصد بود. چوب‌ها پس از سه روز نگهداری در سردخانه، جهت انجام آزمایش به گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تهران منتقل شدند.



شکل ۲- سوراخ‌های ایجاد شده بر روی اهرم گاز جهت کنترل دور موتور

Fig. 2. The holes created on the trigger in order to control the engine speed



شکل ۳- چوب‌های پیچیده شده در نایلون
Fig. 3. Timbers wrapped in nylon

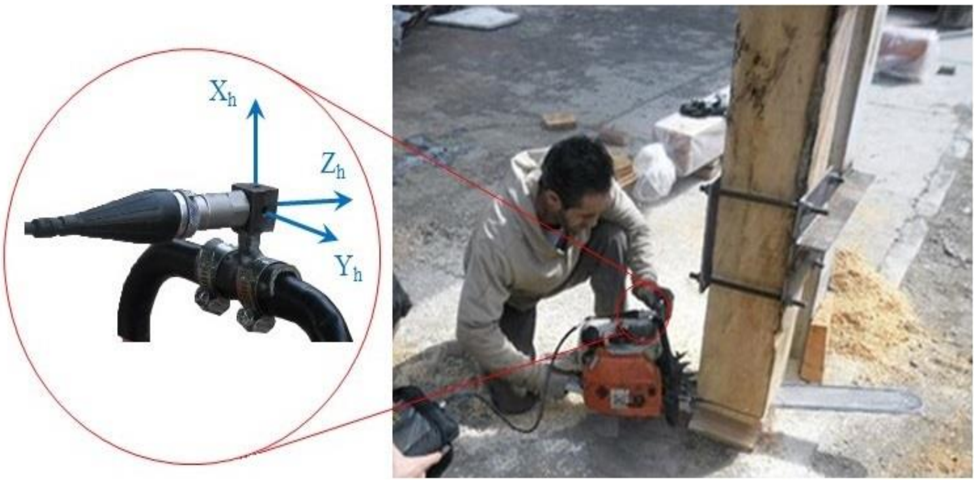
جهت اندازه‌گیری و ثبت ارتعاشات از دستگاه Easy-Viber که امکان جمع‌آوری داده‌های شتاب ارتعاش به‌صورت دیجیتال را داراست استفاده گردید. مشخصات دستگاه نام‌برده در جدول ۲ آورده شده است. مطابق با استاندارد ISO 5349- 2001 برای اندازه‌گیری ارتعاشات دست- بازو به داده‌های شتاب ارتعاش در بازه فرکانسی ۵ تا ۱۴۰۰ هرتز (مراکز باندهای فرکانس یک سوم اکتاو ۶/۳ تا ۱۲۵۰ هرتز) نیاز است. یک شتاب‌سنج پیزوالکتریک یک جهته مدل VMI-192 نیز با توجه به وزن حدوداً ۵۰ گرم (در نظر گرفتن تأثیر مضاعف حسگر)، حساسیت ۱۰۰ میلی‌ولت به ازای یک واحد شتاب گرانش (g) و محدوده دینامیکی ۸۰g و همچنین مطابقت با دستگاه داده‌برداری، به‌عنوان حسگر به‌کار برده شد. جهت نصب حسگر بر روی دسته ارّه موتوری از روش پیچ کردن استفاده گردید. حسگر بر روی سوراخ‌های پیچ شده در وجه‌های سه‌گانه یک مکعب فلزی با توجه به جهت مورد نظر برای اندازه‌گیری ارتعاشات بسته می‌شد. مکعب فلزی بر روی یک پایه هلالی شکل جوش شده بود که به شکل مناسبی بر روی دسته استوانه‌ای شکل ارّه موتوری بسته می‌شد. با بستن گیره بر روی هلالی نامبرده، از هر گونه لغزشی بین دسته ارّه و حسگر جلوگیری به‌عمل آمد (شکل ۴). جهت‌های اندازه‌گیری ارتعاش بر روی ارّه موتوری نیز در شکل ۴ نشان داده شده است. جهت‌های اندازه‌گیری با توجه به استاندارد ISO 5349- 2001 مطابق با شکل ۵ تعیین شد.

جدول ۲- مشخصات دستگاه داده‌برداری ارتعاشات
Table 2- Specifications of vibration data acquisition system

پارامتر **Parameter**	مشخصه **Specification**
تفکیک‌پذیری طیف Spectrum resolution	۰/۰۳۱۲۵ یا ۰/۰۶۲۵ هرتز؛ ۰/۵ یا ۱ هرتز؛ ۲/۵ یا ۵ هرتز 0.03125 or 0.0625 Hz; 0.5 or 1 Hz; 2.5 or 5 Hz
امکان انتخاب محدوده فرکانسی Selectable spectrum frequency ranges	۰/۵ تا ۲۰۰ هرتز؛ ۰/۵ تا ۳۲۰۰ هرتز؛ ۲/۵ تا ۱۶۰۰۰ هرتز 0.5-200 Hz; 0.5-3200 Hz; 2.5-16000 Hz
سرعت واقعی داده‌برداری Real-time sampling rate	۸/۲ یا ۱۶/۴ کیلو هرتز 8.2 or 16.4 kHz
محدوده دینامیکی Dynamic range	۸۰ دسی بل > > 80 dB

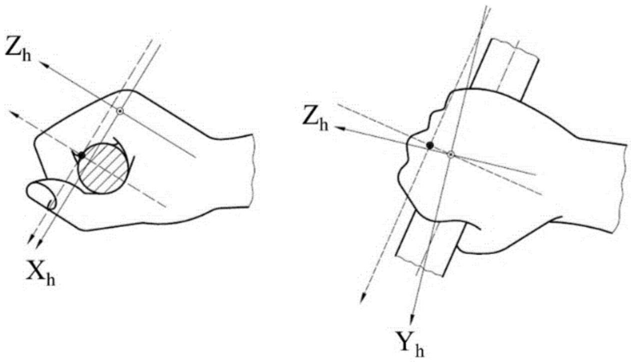
اندازه‌گیری ارتعاشات در سه دور موتور، درهنگام برش سه نوع چوب جنگلی و یک حالت بدون برش چوب، سه جهت عمود برهم بر روی دسته جلوی ارّه موتوری و در سه تکرار انجام گرفت. جهت نگه داشتن چوب در هنگام برش از یک ستون فلزی محکم بهره گرفته شد. ستون فلزی هم استحکام لازم جهت تحمل وزن چوب را دارا بود و هم قابلیت جوشکاری و ساخت گیره‌ای که بتواند چوب را در حالت مورد نیاز نگه‌دارد را داشت. با استفاده از چهار ورق فلزی به ضخامت یک سانتی‌متر که دو به دو توسط پیچ‌های بلند به هم متصل می‌شدند و قابلیت قرار دادن و محکم کردن چوب را داشتند، یک گیره فلزی مطابق شکل ۴ ساخته شد. در اندازه‌گیری‌ها قطعه چوب مورد نظر از پایین با زمین تماس نداشت و وزن ارّه کاملاً توسط کاربر تحمل می‌شد. قبل از انجام اندازه‌گیری، ارّه موتوری مطابق با دفترچه راهنمای سازنده، تنظیم شده و از سالم بودن تمامی قطعات آن اطمینان حاصل شد. در طی آزمایش‌ها، مخزن روغن و بنزین موتور

تقریباً پر بودند. با توجه به اینکه بستن هر چوب به گیره و باز نمودن آن در هر آزمایش زمان‌بر بود، با بستن هر چوب به گیره تمامی اندازه‌گیری‌های مربوط بر روی آن چوب انجام می‌شد. لذا آزمایش‌ها با استفاده از طرح اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳۶ تیمار انجام گرفتند.



شکل ٤- شرایط برش چوب

Fig.4. Wood cutting conditions



شکل ۵- جهت‌های اندازه‌گیری ارتعاشات بر روی دسته ارّه موتوری (ISO 5349, 2001)

Fig.5. Vibration measurement axes on chainsaw handle (ISO 5349, 2001)

دستگاه استفاده شده جهت اندازه‌گیری و ثبت ارتعاشات، قابلیت ارائه داده‌های شتاب ارتعاش در دو حوزه زمان و فرکانس را دارا بود. از سیگنال‌های حوزه زمان می‌توان جذر میانگین مربعات شتاب ارتعاش یا به اختصار RMS را محاسبه نمود که مرتبط با محتوای انرژی سیگنال است و اغلب به‌عنوان شتاب معادل شناخته می‌شود (Taylor, 2009).

ارتعاشات یک ماشین در واقع از مجموعه ارتعاشات هارمونیک با فرکانس‌های مختلف تشکیل می‌شود. طیف‌های ارتعاشی در بازه فرکانس می‌توانند اطلاعات مفیدی را در اختیار ما بگذارند. لذا، سیگنال‌های به‌دست آمده در حوزه زمان به سیگنال‌های حوزه فرکانس تبدیل شدند. از سیگنال‌های حوزه فرکانس مقادیر جذر میانگین مربعات شتاب ارتعاش در مراکز فرکانسی باند یک سوم اکتاو از ۶/۳ هرتز تا ۱۲۵۰ هرتز به‌دست آمدند. پاسخ بدن به ارتعاشات با فرکانس‌های مختلف بسیار متفاوت است. درک بدن از ارتعاشات با فرکانس‌های پایین، بالا بوده و با افزایش فرکانس، این درک به‌طور مؤثری کاهش می‌یابد (Broyde *et al.*, 1989; Giacomin *et al.*, 2004; Morioka and Griffin, 2006). لذا فاکتور وزن برای ارتعاشات با فرکانس‌های مختلف متفاوت است. با ضرب کردن وزن مخصوص هر مرکز باند فرکانسی یک سوم اکتاو در میزان شتاب ارتعاش مربوط به همان باند مطابق با استاندارد ISO 5349-2001، مقادیر شتاب ارتعاش وزن‌دار شده در مرکز باند مورد نظر محاسبه می‌شود. در نهایت با استفاده از رابطه (۱) مقادیر شتاب ارتعاش وزن‌دار

شده برای هر سیگنال شتاب ارتعاش به‌دست آمد.

$$a_{hw} = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} \left(k_j a_{hj}\right)^2} \quad (۱)$$

در این رابطه a_{hw} میزان شتاب ارتعاش وزن‌دار شده فرکانسی در جهت w ($m\ s^{-2}$)؛ k_j فاکتور وزنی ژامین باند یک سوم اکتاو و a_{hj} جذر میانگین مربعات شتاب ارتعاش در ژامین باند فرکانسی یک سوم اکتاو ($m\ s^{-2}$) می‌باشد.

مقدار کلی ارتعاشات وزن‌دار شده فرکانسی نیز با استفاده از رابطه (۲) محاسبه گردید. با استفاده از این رابطه، مقدار کلی ارتعاشات در هر نقطه از سیستم مختصات در نظر گرفته شده برای اندازه‌گیری ارتعاشات مستقل خواهد بود (Dewangan and Tewari, 2009b).

$$a_{hv} = \sqrt{a_{hx}^{\ 2} + a_{hy}^{\ 2} + a_{hz}^{\ 2}} \quad (۲)$$

در این رابطه a_{hx}، a_{hy} و a_{hz} به‌ترتیب میزان شتاب ارتعاش وزن‌دار شده فرکانسی در جهت x، y و z ($m\ s^{-2}$) می‌باشد.

در پایان داده‌های به‌دست آمده در نرم‌افزار آماری SAS نسخه 9.1.3 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. جهت مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس شتاب ارتعاش وزن‌دار شده فرکانسی (a_{hw}) در جدول ۳ آورده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، اثر مستقل عملیات و اثر متقابل عملیات و سرعت از نظر آماری معنی‌دار نشده است. اثر مستقل سرعت، اثر مستقل جهت، اثر متقابل عملیات و جهت، اثر متقابل سرعت و جهت و اثر سه‌گانه عملیات، سرعت و جهت همگی در سطح ۱٪ معنی‌دار شده‌اند.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس شتاب ارتعاش وزن‌دار شده فرکانسی

Table 3- ANOVA results of frequency weighted vibration acceleration (a_{hw})

منبع تغییرات Source of variation	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean square	F Value	معنی‌داری Sig.
عملیات Operation	3	1.9834	0.61	0.6253^{ns}
خطای اصلی Main Error	8	3.2344	1.03	0.4239
سرعت Speed	2	138.2113	43.97	<0.0001**
جهت Axis	2	261.2091	83.10	<0.0001**
عملیات*سرعت Operation*Speed	6	4.1173	1.31	0.2657^{ns}
عملیات*جهت Operation*Axis	6	48.4876	15.74	<0.0001**
سرعت*جهت Speed*Axis	4	105.9767	33.72	<0.0001**
عملیات*سرعت*جهت Operation*Speed*Axis	12	8.1201	2.58	0.0073**
خطای فرعی Error	64	3.1433		

**: معنی‌دار در سطح ۱٪؛ ns: عدم معنی‌داری

**: Significant at 1% Level; ns: Non-significant

نتایج آزمون مقایسه میانگین چند دامنه‌ای دانکن در جدول ۴ آورده شده است. بیشترین مقدار شتاب ارتعاش وزن‌دار شده فرکانسی مربوط به حالت برش چوب توسکا در دور موتور ۸۶۳۰ دور بر دقیقه و جهت عمود بر دسته با مقدار ۱۸/۳۷۱ متر بر مجذور ثانیه و کمترین مقدار آن مربوط به حالت برش چوب ممرز در دور موتور ۶۰۰۰ دور بر دقیقه و هم راستا با دسته ارّه با مقدار ۳/۹۶۸ متر بر مجذور ثانیه می‌باشد.

همانطور که مشاهده می‌شود، برخلاف فرضیه انجام تحقیق، تأثیر نوع عملیات (برش بدون چوب و برش با چوب‌های مختلف) بر میزان شتاب ارتعاش وزن‌دار شده فرکانسی (a_{hw}) که عامل تأثیرگذار در ابتلای کاربران وسایل مرتعش به عارضه انگشت سفید می‌باشد، معنی‌دار نشده است. در مطالعه‌ای که بر روی چوب‌های صنوبر سیاه و

سفید، صنوبر نروژی و راش اروپایی انجام شده بود نیز تفاوت معنی‌داری بین شتاب ارتعاش وزن‌دار شده فرکانسی در حالت برش چوب‌های صنوبر سیاه و سفید و صنوبر نروژی مشاهده نشد، اما بین چوب راش با دو چوب دیگر تفاوت معنی‌دار بود. همچنین نتایج این مطالعه نشانگر وجود تفاوت معنی‌دار در منحنی پاسخ فرکانس در حالت‌های مختلف برش بود (Rottensteiner *et al.*, 2012). با نگاهی به داده‌های مربوط به شتاب ارتعاش در بازه فرکانسی، می‌توان به تفاوت‌هایی در ماهیّت ارتعاش پی برد.

جدول ٤- مقایسه دانکن میانگین‌های شتاب ارتعاش وزن‌دار شده فرکانسی در عملیات‌ها، سرعت‌ها و جهت‌های مختلف در سطح ۵٪

Table 4- The Duncan-test between the frequency weighted vibration acceleration (a_{hw}) of different operations, speeds and axes at level 5%

عملیات Operation		بدون برش No-Cutting	راش Beech	ممرز Hornbeam	توسکا Alder
6000 RPM	X	4.827[kl]	6.834[hijkl]	6.208[hijkl]	9.140[defghi]
	Y	9.250[cdefghi]	5.960[ijkl]	3.968[l]	7.477[fghijkl]
	Z	9.082[defghi]	7.094[ghijkl]	8.819[defghij]	6.042[ijkl]
7720 RPM	X	9.648[cdefgh]	15.501[ab]	11.445[cd]	15.887[a]
	Y	15.770[a]	7.826[efghijk]	10.512[cdefg]	7.324[fghijkl]
	Z	7.602[fghijk]	5.506[jkl]	6.777[hijkl]	6.476[hijkl]
8630 RPM	X	12.581[bc]	17.119[a]	17.032[a]	18.371[a]
	Y	12.517[bc]	10.614[cdef]	11.047[cde]	7.213[fghijkl]
	Z	5.314[jkl]	5.394[jkl]	5.492[jkl]	6.429[hijkl]

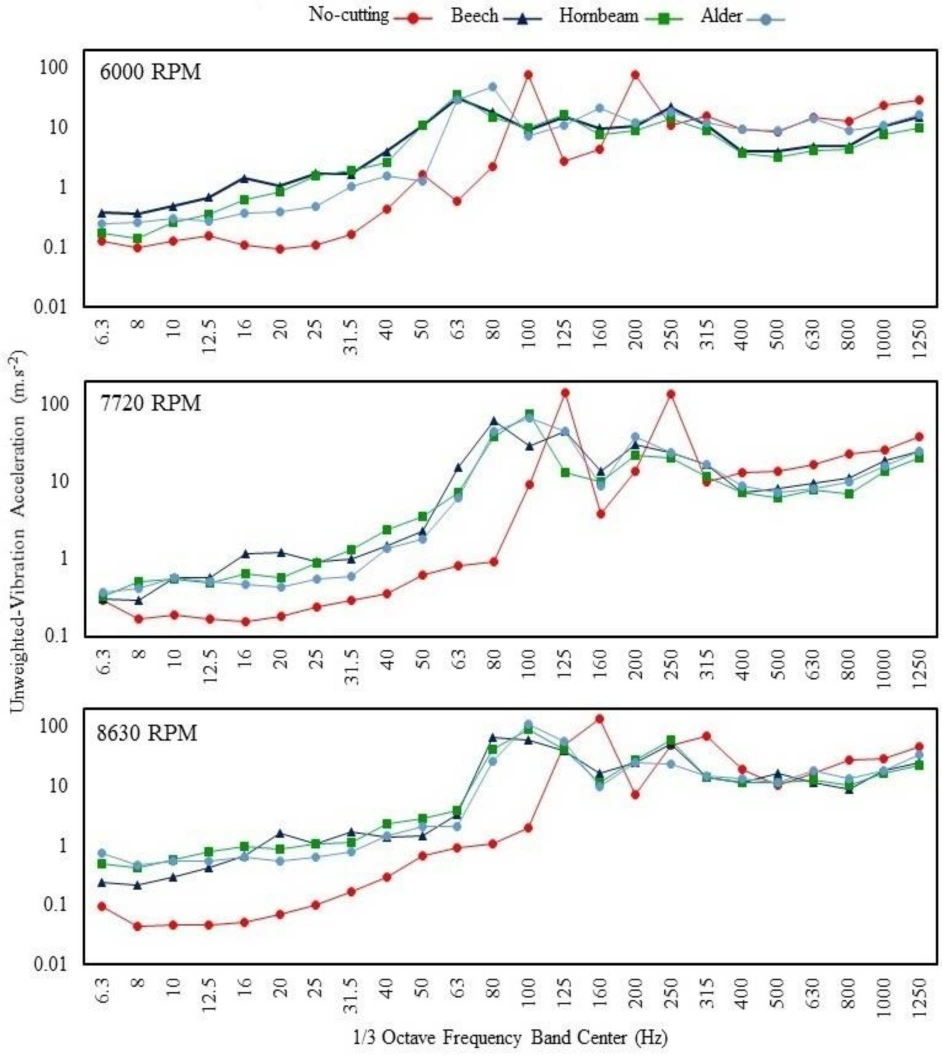
میانگین‌های موجود در هر موقعیت که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌دار ندارند.

Any means that have at least one common letter are not significantly different at the 5% level

مقادیر برآیند شتاب ارتعاش در مراکز باندهای یک سوم اکتاو در شکل ۶ نشان داده شده است. با توجه به شکل، شتاب ارتعاش در حالت بدون برش نسبت به برش چوب، به‌طور معمول در فرکانس‌های پایین‌تر مقادیر کمتری داشته است که البته این میزان اختلاف بسیار کوچک است. امّا در فرکانس‌های بالاتر شتاب ارتعاش در حالت بدون برش نسبت به برش چوب، از مقادیر بزرگتری برخوردار است. به‌عبارت دیگر، درگیری ارّه با چوب توانسته است ارتعاشات با فرکانس بالا را تا حدودی میرا نماید، در حالی که ارتعاشات با فرکانس پایین نه تنها میرا نشده‌اند؛ بلکه به میزان اندکی افزایش یافته‌اند. به‌هرحال میزان شتاب ارتعاش وزن‌دار شده فرکانسی در حالت‌های بدون برش، برش راش، برش ممرز و برش توسکا به‌ترتیب دارای مقادیر میانگین ۹/۶۲، ۹/۳۷، ۹/۰۹ و ۹/۰۳ متر بر مجذور ثانیه بود که تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند.

نتایج تجزیه واریانس، حاکی از تأثیر معنی‌دار دور موتور بر میزان شتاب ارتعاش وزن‌دار شده فرکانسی بود. شتاب ارتعاش وزن‌دار شده فرکانسی در دور موتور ۶۰۰۰، ۷۷۲۰ و ۸۶۳۰ دور بر دقیقه به‌ترتیب برابر با ۷/۰۵۸۴، ۱۰/۰۲۲۸ و ۱۰/۰۵۸۴ متر بر مجذور ثانیه بود. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که این تفاوت تنها بین دور موتور ۶۰۰۰ با دورهای ۷۷۲۰ و ۸۶۳۰ دور بر دقیقه معنی‌دار بوده است و بین دورهای ۷۷۲۰ و ۸۶۳۰ دور بر دقیقه تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. لذا می‌توان اظهار داشت که دور شدن دور موتور از دور نامی تأثیر معنی‌داری بر میزان شتاب ارتعاش گذاشته است. در مطالعه بر روی ارّه موتوری Stihl-MS230 در حالت بدون برش چوب نیز نتیجه گرفته شد که میزان شتاب ارتعاش وزن‌دار شده کلی در دور نامی کمترین مقدار را دارد و با دور شدن از دور نامی، میزان شتاب ارتعاش افزایش می‌یابد (Feyzi *et al.*, 2016b). به هر حال میزان شتاب ارتعاش وزن‌دار شده در دورهای ۶۰۰۰ و ۸۶۳۰ دور بر دقیقه به‌ترتیب کمترین و بیشترین مقادیر را دارا بود. به عبارتی با بالا رفتن دور موتور، میزان شتاب ارتعاش وزن‌دار شده افزایش یافته است. مطالعه بر روی تراکتور دستی نشان داده است که با افزایش سرعت پیشروی میزان شتاب ارتعاش وزن‌دار نشده خصوصاً در فرکانس‌های پایین افزایش می‌یابد و نویسندگان اظهار داشته‌اند که فاکتور وزنی بزرگتر مربوط به فرکانس‌های پایین موجب بزرگ شدن میزان شتاب ارتعاش وزن‌دار شده در سرعت‌های پیشروی بالاتر شده است (Dewangan and Tewari, 2009b). در شکل ۶ مشاهده می‌شود که میزان شتاب ارتعاش در فرکانس‌های پایین با افزایش دور موتور از روند خاصی پیروی نمی‌کند. مقدار شتاب ارتعاش در فرکانس‌های بالا بسیار بزرگ‌تر از فرکانس‌های پایین است و بزرگتر شدن شتاب ارتعاش در این فرکانس‌ها با افزایش دور موتور می‌تواند افزایش شتاب ارتعاش وزن‌دار شده با افزایش دور موتور را توجیه نماید.

نیروی اینرسی اجزای متحرک نامتعادل، نوسان متناوب فشار گاز درون سیلندر، جریان متلاطم گازهای خروجی سیلندر، حرکت اجزایی مانند پمپ روغن و پروانه خنک‌کن و حرکت طولی و جانبی زنجیر می‌توانند عامل اصلی ارتعاشات ارّه موتوری باشند. هر کدام از این اجزا بسته به درجه آزادی و فرکانس طبیعی خود می‌توانند ارتعاشاتی با فرکانس‌های مختلف را پدید آورند. مطابق با شکل ۶ بیشترین شتاب ارتعاش وزن‌دار نشده در حالت بدون برش در دور ۶۰۰۰، ۷۷۲۰ و ۸۶۳۰ دور بر دقیقه به‌ترتیب در مراکز فرکانسی ۱۰۰، ۱۲۵ و ۱۶۰ هرتز با مقادیر ۷۷/۲، ۱۳۸/۶ و ۱۳۹/۰ متر بر مجذور ثانیه رخ داده است. مقادیر بیشینه شتاب ارتعاش با افزایش دور موتور، افزایش یافته است.



شکل ٦- مقادیر برآیند شتاب ارتعاش در مراکز باندهای فرکانسی یک سوم اکتاو

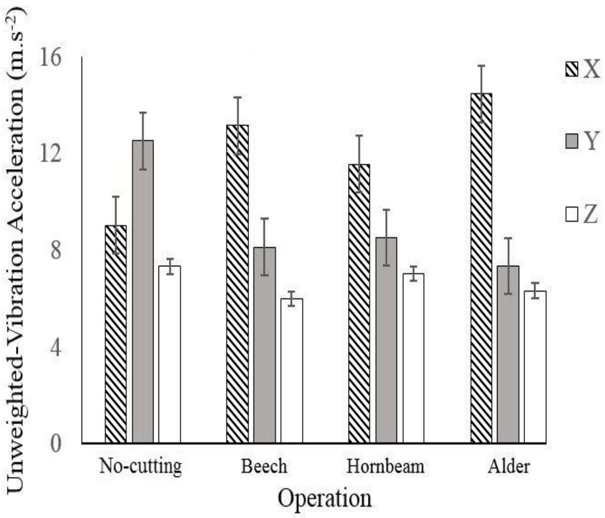
Fig. 6. Vibration acceleration total value, as a function of frequency, in one-third octave bands

بررسی طیف‌های شتاب ارتعاش در بازه فرکانسی نشان می‌دهد که در هر دور موتور، بیشترین مقدار شتاب ارتعاش در فرکانس مربوط به دور موتور اتفاق افتاده است. برای مثال در دور ۶۰۰۰ دور، با توجه به اینکه موتور دو زمانه می‌باشد، در هر ثانیه ۱۰۰ بار عمل احتراق اتفاق می‌افتد و فرکانس ضربات احتراق برابر با ۱۰۰ هرتز است. قله شتاب ارتعاش نیز در این دور موتور در فرکانس ۱۰۰ هرتز خود را نشان داده است. با توجه به اینکه فرکانس ضربات احتراق موتور در دورهای ۶۰۰۰، ۷۷۲۰ و ۸۶۳۰ به‌ترتیب در بازه‌های فرکانسی یک سوم اکتاو با مراکز ۱۰۰، ۱۲۵ و ۱۶۰ هرتز قرار می‌گیرند، قله‌های شتاب ارتعاش نیز در این مراکز ظاهر شده‌اند. قله‌های بعدی شتاب ارتعاش در فرکانسی که دو برابر فرکانس مربوط به قله اول می‌باشد اتفاق افتاده‌اند. در مطالعه مربوط به ارّه موتوری Stihl-MS230 نیز با

بررسی طیف‌های شتاب ارتعاش در حوزه فرکانس، مشاهده شد که مقدار بیشینه شتاب ارتعاش منطبق بر فرکانس ضربات احتراق موتور بوده و قله‌های دیگر نیز در فرکانس‌هایی که ضرایب صحیحی از ضربات احتراق موتور بودند ظاهر شده‌اند (Feyzi *et al.*, 2016a). این رفتار در مطالعه‌های انجام گرفته بر روی ماشین‌های دیگر (Ko *et al.*, 2011; Taghizadeh Ali Saraei *et al.*, 2010) نیز مشاهده شده است.

مقدار شتاب ارتعاش وزن‌دار شده فرکانسی در جهات مختلف تفاوت معنی‌داری داشت. نتایج آزمون مقایسه میانگین‌ها نشان داد که این تفاوت بین هر سه جهت عمود برهم معنی‌دار است. میزان شتاب ارتعاش در جهت X_h (عمود بر کف دست)، در جهت Y_h (هم راستا با دسته ارّه موتوری) و در جهت Z_h (هم راستا با استخوان متاکارپ سوم) به‌ترتیب برابر با ۱۲/۰۵، ۹/۱۲ و ۶/۶۷ متر بر مجذور ثانیه بود. بیشترین مقدار شتاب ارتعاش در جهت X_h اتفاق افتاده است. میزان شتاب ارتعاش در این جهت، به‌ترتیب حدود ۳۲٪ و ۸۱٪ بیشتر از جهات Y_h و Z_h است. مطالعه ارتعاشات بر روی دسته تراکتور دستی نیز نشان داده است که شتاب ارتعاش در راستای محور X_h، بیشترین مقدار را دارد (Dewangan and Tewari, 2009b). مطالعه دیگری نیز نشان داده است که میزان شتاب ارتعاش بر روی دسته تراکتور دستی در راستای محور Z_h دارای کمترین مقدار است (Goglia *et al.*, 2006).

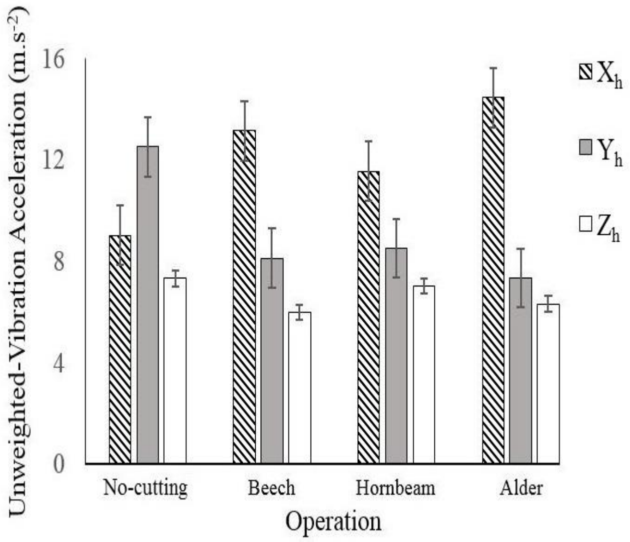
اثر متقابل عملیات و جهت در شکل ۷ نشان داده شده است. مطابق با این شکل، در حالت بدون برش بیشترین مقدار شتاب ارتعاش مربوط به جهت Y_h می باشد، در حالی که در هر سه حالت برش، بیشترین مقدار در راستای X_h ظاهر شده است. در واقع برش چوب نسبت به حالت بدون برش سبب افزایش شتاب ارتعاش وزن‌دار شده فرکانسی در راستای عمود بر کف دست (X_h) و کاهش آن در راستای دسته ارّه موتوری (Y_h) شده است. مقادیر شتاب ارتعاش در راستای استخوان متاکارپ سوم (Z_h) تغییر چندانی نداشته است.



شکل ۷- مقدار شتاب ارتعاش وزن‌دار شده فرکانسی در عملیات‌های مختلف

Fig. 7. Frequency weighted vibration acceleration (ahw) values at different operations

اثر متقابل سرعت و جهت در شکل ۸ آورده شده است. مطابق با این شکل، مقادیر در دور موتور ۶۰۰۰ دور بر دقیقه در جهت‌های مختلف تفاوت چندانی با هم ندارند. حال آنکه در دو دور موتور ۷۷۲۰ و ۸۶۳۰ دور بر دقیقه، مطابق با الگوی یکسانی، مقادیر شتاب ارتعاش وزن‌دار شده فرکانسی دارای بیشترین مقدار در جهت X_h (عمود بر کف دست) و کمترین مقدار در جهت Z_h (هم‌راستا با استخوان متاکارپ سوم) هستند. در مطالعه انجام گرفته بر روی ارّه موتوری Stihl-MS230، اثر متقابل جهت و دور موتور بر میزان RMS شتاب ارتعاش معنی‌دار شده بود. بیشترین میزان RMS شتاب ارتعاش در دسته‌های جلو و عقب ارّه موتوری در دورهای مختلف در جهات متفاوتی ظاهر شده است (Feyzi *et al.*, 2016b).



شکل ۸- مقادیر شتاب ارتعاش وزن‌دار شده فرکانسی در سرعت‌های مختلف

Fig. 8. Frequency weighted vibration acceleration (ahw) values at different speeds

مقادیر شتاب ارتعاش وزن‌دار نشده بر روی دسته‌های ارّه موتوری Stihl-MS230 که مجهز به سیستم ضد ارتعاش می‌باشد، تنها در فرکانس‌های منطبق با ضربات احتراق موتور از ۱۰ متر بر مجذور ثانیه تجاوز کرده است (Feyzi *et al.*, 2016b). مقایسه این مطالعه با تحقیق حاضر نشان می‌دهد که مقادیر شتاب ارتعاش وزن‌دار نشده بر روی دسته ارّه موتوری مطالعه شده در این تحقیق، بسیار بزرگتر است که البته با توجه به اندازه کوچکتر ارّه Stihl-MS230، این انتظار می‌رفت. به علاوه با توجه به دور پایین‌تر موتور در ارّه موتوری مورد مطالعه در تحقیق حاضر، قله‌های فرکانسی در فرکانس‌های پایین‌تری اتفاق افتاده‌اند. از آنجایی که فاکتورهای وزنی با کاهش فرکانس افزایش می‌یابند (ISO 5349, 2001)، لذا احتمال ابتلا به عارضه‌های ارتعاشی برای کاربران این ماشین بسیار بالاتر است. شتاب ارتعاش وزن‌دار نشده بر روی دسته ارّه موتوری در مقایسه با تراکتور دستی بسیار بزرگتر است. امّا قله‌های شتاب ارتعاش در تراکتور دستی در فرکانس‌های پایین‌تری واقع شده‌اند (Dewangan and Tewari, 2009b). به‌طور کلّی می‌توان اظهار داشت که خطر ابتلا به عارضه‌های ارتعاشی برای کاربران ارّه موتوری مطالعه شده در این تحقیق بسیار بالاست.

مطالعات بر روی ارّه موتوری Stihl-MS230 جهت بررسی سطح ارتعاشات و چگونگی انتقال آن به مچ دست و بازوی کاربر در حالت بدون برش انجام گرفته است. لذا، در این مطالعات مطابق با استاندارد ISO-7505 سطح ارتعاشات در سه دور آرام، نامی و تند و در حالت افقی چوب مورد اندازه‌گیری و تحلیل قرار گرفته است (Feyzi *et al.*, 2016a; Feyzi *et al.*, 2016b). در مطالعه حاضر، هدف اصلی بررسی تأثیر برش چوب‌های مختلف بر میزان ارتعاشات در دسته ارّه موتوری بوده و به همین دلیل ارتعاشات در دورهایی که برای برش چوب مورد استفاده قرار می‌گیرند و در حالت شبیه‌سازی شده برش درخت، اندازه‌گیری و ارزیابی شده است. بدیهی است که مطالعه بر روی ارّه موتوری‌های با اندازه و حجم موتور مختلف به‌منظور بررسی دور موتور، نوع چوب و شرایط برش بر میزان ارتعاشات و نحوه انتقال آن به اندام‌های بدن، نتایج جامع‌تری را در پی خواهد داشت. به هر حال در مطالعه بر روی هر دو نوع ارّه موتوری، ضربات احتراق موتور به‌عنوان عامل اصلی ارتعاشات شناخته شده و دور شدن از دور نامی موتور، سبب افزایش میزان شتاب ارتعاش وزن‌دار شده فرکانسی گردیده است.

ارّه موتوری Stihl-MS230 نسبت به ارّه موتوری Stihl-070 دارای اندازه کوچکتر و حجم موتور کمتری است. با توجه به اینکه ضربات احتراق موتور عامل اصلی ارتعاشات هستند، ضربات احتراق کوچکتر و دور بالاتر ارّه موتوری Stihl-MS230 (به سبب وارد شدن فاکتور وزنی کوچکتر) شتاب ارتعاش وزن‌دار شده کمتری را موجب می‌گردد. به‌علاوه مجهز بودن این ارّه موتوری به سیستم ضد ارتعاش سبب انتقال ارتعاش کمتری به اندام‌های کاربر می‌شود. لذا پیشنهاد می‌گردد که در عملیاتی مانند شاخه‌زنی یا قطع درختان با قطر کم از ارّه‌های مشابه با این ارّه به جای ارّه‌هایی همچون Stihl-070 استفاده گردد. به‌علاوه، سعی شود ارّه موتوری در دورهای نزدیک به دور نامی موتور به‌کار گرفته شود. چرا که مطابق با مطالعات انجام گرفته، شتاب ارتعاش وزن‌دار شده فرکانسی در این دور کمترین مقادیر را دارا بوده و نیز در دور نامی میزان انتقال‌پذیری ارتعاش از دسته به مچ کاربر کمترین میزان را داشته است (Feyzi *et al.*, 2016a). بدین ترتیب ممکن است از قرار گرفتن کاربر در معرض ارتعاشات وزن‌دار شده

فرکانسی بزرگتر که احتمال ابتلای وی به عارضه انگشت سفید را افزایش می‌دهند، تا حدی جلوگیری به‌عمل آید.

نتیجه‌گیری

با توجه به جدول تجزیه واریانس نوع عملیات شامل یک حالت بدون برش و سه حالت برش چوب‌های جنگلی مختلف تأثیر معنی‌داری بر میزان شتاب ارتعاش وزن‌دار شده فرکانسی نداشت.

درگیری ارّه با چوب موجب شد که مقادیر شتاب ارتعاش در فرکانس‌های پایین‌تر از فرکانس منطبق بر دور موتور تاحدی افزایش یافته و در فرکانس‌های بالاتر به اندازه‌ای کاهش یابد.

با افزایش دور موتور میزان شتاب ارتعاش وزن‌دار شده فرکانسی افزایش یافت و با دور شدن دور موتور از دور نامی، افزایش معنی‌داری در شتاب ارتعاش وزن‌دار شده فرکانسی رخ داد. همچنین با افزایش دور موتور میزان بیشینه شتاب ارتعاش در مراکز باندهای فرکانسی یک سوم اکتاو، افزایش یافت.

قله‌های اول و دوم شتاب ارتعاش وزن‌دار نشده، به‌ترتیب در فرکانس‌های برابر و دو برابر فرکانس ضربات احتراق موتور ظاهر شدند.

بیشترین و کمترین میزان شتاب ارتعاش وزن‌دار شده به‌ترتیب مربوط به راستای عمود بر کف دست و راستای استخوان متاکارپ سوم با مقادیر ۱۲/۰۵ و ۶/۶۷ متر بر مجذور ثانیه بود.

کمترین مقدار شتاب ارتعاش وزن‌دار شده فرکانسی ۳/۹۶۸ متر بر مجذور ثانیه بود و این مقادیر در بسیاری از موارد از ۱۰ متر بر مجذور ثانیه تجاوز کرده‌اند و تا ۱۸/۳۷۱ متر بر مجذور ثانیه نیز پیش رفته‌اند. به‌طور کلّی می‌توان گفت میزان ارتعاشات در ارّه موتوری مطالعه شده و خطر ابتلا به بیماری انگشت سفید در میان کاربران آن تا حد زیادی بالاست.

References

1. Ahmadian, H. 2012. Measurement, analysis and evaluation of a power tiller vibration on transportation mode. University of Tehran. (In Farsi).
2. Ahmadian, H., S. R. Hassan-beygi, and B. Ghobadian. 2014. Investigating a power tiller handle and seat vibration on transportation mode. CIGR journal 16: 164-206.
3. Arastoo, S. 2007. Economical and practical foundations of forest management. University of Tehran press. Tehran. (In Farsi).
4. Broyde, M., P. Donati, and L. Bitsch. 1989. Subjective assessment of the vibration discomfort produced by different hand held machines. Journal of Low Frequency Noise and Vibration 8: 50-61.
5. Burdorf, A., and P. Swuste. 1993. the effect of seat suspension on exposure to whole body vibration of professional drivers. The Annals of Occupational Hygiene 37: 45-55.
6. Dewangan, K. N., and V. K. Tewari. 2009a. Vibration energy absorption in the hand–arm system of hand tractor operator. Biosystems Engineering 103: 445-454.
7. Dewangan, K. N., and V. K. Tewari. 2009b. Characteristics of hand-transmitted vibration of a hand tractor used in three operational modes. International Journal of Industrial Ergonomics 39: 239-245.
8. Feyzi, M., A. Jafari, and H. Ahmadi. 2016a. Investigation of vibration transmissibility from chainsaw handle to wrist and arm of operator. Iranian Journal of Biosystem Engineering 47: 345-351. (In Farsi).
9. Feyzi, M., A. Jafari, and H. Ahmadi. 2016b. Investigation and analysis the vibration of handles of chainsaw without cutting. Journal of Agricultural Machinery 6 (1): 90-101. (In Farsi).
10. Giacomin, J., M. S. Shayaa, E. Dormegnie, and L. Richard. 2004. Frequency weighting for the evaluation of steering wheel rotational vibration. International Journal of Industrial Ergonomics 33: 527-541.
11. Goglia, V., Z. Gospodaric, D. Filipovic, and I. Djukic. 2006. Influence on operator's health of hand-transmitted vibrations from handles of a single-axle tractor. Annals of Agricultural and Environmental Medicine 13: 33-38.
12. Hostens, I., and H. Ramon. 2003. Descriptive analysis of combine cabin vibrations and their effect on the human body. Journal of Sound and Vibration 266: 453-464.
13. Hutton, S. G., N. Paris, and R. Brubaker. 1993. The vibration characteristics of chain saws and their influence on vibration white finger disease. Ergonomics 36: 911-926.
14. ISO 5349. 2001. Mechanical vibration-measurement and evaluation of human exposure to hand transmitted vibration. Pages 32.
15. Jourgholami, M., B. Majnounian, and N. Zargham. 2012. Production and costs of motor-manual tree felling in *hyrcanian* forest. Journal of Forest and Wood Products 65: 285-297. (In Farsi).

16. Jourgholami, M., V. Rizvandi, and B. Majnounian. 2013. Environmental impact assessment of forest harvesting to residual stand (case study: kheyroud forest). Environmental Researches 4: 115-124. (In Farsi).
17. Ko, Y. H., O. L. Ean, and Z. M. Ripin. 2011. The design and development of suspended handles for reducing hand-arm vibration in petrol driven grass trimmer. International Journal of Industrial Ergonomics 41: 459-470.
18. Kumlin, T., M. Wiikeri, and P. Sumari. 1973. Radiological changes in carpal and metacarpal bones and phalanges caused by chain saw vibration. British Journal of Industrial Medicine 30: 71-73.
19. Laroche, G. P. 1976. Traumatic vasospastic disease in chain-saw operators. Canadian Medical Association Journal 115: 1217-1221.
20. Latibari, A. 2007. Wood cutting technology. Institute of Applied Science. Tehran. (In Farsi).
21. Letz, R., M. Cherniack, F. Gerr, D. Hershman, and P. Pace. 1992. A cross sectional epidemiological survey of shipyard workers exposed to hand-arm vibration. Journal of Industrial Medicine 49: 53-62.
22. Mehta, C. R., M. Shyam, P. Singh, and R. N. Verma. 2000. Ride vibration on tractor-implement system. Applied Ergonomics 31: 323-328.
23. Morioka, M., and M. J. Griffin. 2006. Magnitude-dependence of equivalent comfort contours for fore-and-aft, lateral and vertical hand-transmitted vibration. Journal of Sound and Vibration 295: 633-648.
24. Paddan, G. S., and M. J. Griffin. 2002. Evaluation of whole-body vibration in vehicles. Journal of Sound and Vibration 253: 195-213.
25. Pourabdian, S., E. Habibi, M. Sadegi, and M. Rismanchian. 2010. Effect of anti vibration handle use on hand grinding machine vibration. Journal of Health System Research 6: 124-133. (In Farsi).
26. Rottensteiner, C., and P. Tsioras, and K. Stampfer. 2012. Wood Density Impact on Hand-Arm Vibration. Croatian Journal of Forest Engineering 33: 303-312.
27. Sarikhani, N. 2009. Forest exploitation. University of Tehran Press. Tehran. (In Farsi).
28. Sauni, R., P. Virtema, R. Pääkkönen, E. Toppila, I. Pyykkö, and J. Uitti. 2010. Quality of life (EQ-5D) and hand-arm vibration syndrome. International Archives of Occupational and Environmental Health 83: 209-216.
29. Selim, A. A., K. Sobh, and S. M. Fathy. 2012. Hand-arm vibration syndrome clinical and neuro-physiological studies. Australian Journal of Basic and Applied Sciences 6: 292-299.
30. Sorayaei, M., M. Lotfalian, M. T. Mir Mohammadi, and Y. Gorji Mahlebani. 2014. The study of sound intensity of chain saw during tree felling (case study: gardeshi forest). in First Iranian congress of biology and natural science. Tehran, Iran. (In Farsi).
31. Taghizadeh Ali Saraei, A., T. Tavakoli, and B. Ghobadian. 2007. An investigation of seat vibration in universal 650m tractor. Iranian Journal of Agricultural Science 38: 571-580. (In Farsi).
32. Taghizadeh Ali Saraei, A., T. Tavakoli, and B. Ghobadian. 2010. Vibration analysis of two-wheeled tractors at station. Iranian Journal of Biosystem Engineering 41: 27-35. (In Farsi).
33. Taylor, L. J. 2009. The vibration analysis handbook: Ipp Books.
34. Theriault, G., L. D. Guire, S. Gingras, and G. Laroche. 1982. Raynaud's phenomenon in forestry workers in quebec. Canadian Medical Association Journal 126: 1404-1408.
35. Wakeling, J. M., B. M. Nigg, and A. I. Rozitis. 2002. Muscle activity damps the soft tissue resonance that occurs in response to pulsed and continuous vibrations. Journal of Applied Physiology 93: 1093-1103.
36. Yadama, S., and H. Sakakibara. 1994. Research into hand-arm vibration syndrome and its prevention in japan. Nagoya Journal of Medical Science 57: 3-17.
37. Yue, Z., and J. Mester. 2002. A model analysis of internal loads, energetics, and effects of wobbli mass duringthe whole-body vibration. Journal of Biomechanics 35: 639-647.

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 8, No. 2, Fall - Winter 2018, p. 263-277

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۸، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۷، ص ۲۷۷-۲۶۳

The Effect of Operation and Engine Speed on Chainsaw Vibration

M. Feyzi[1*]- A. Jafari[2]- H. Ahmadi[2]

Received: 05-12-2016
Accepted: 05-10-2017

Introduction

Tree felling is an important part of forest exploitation. According to the condition of Iranian forests, mechanization in these forests has not been grown as it should be. Therefore, a main part of tree felling operations are performed by chainsaw. This machine can cause high level hand-arm vibration which is one of the main reasons of white finger syndrome. This syndrome affects the nerves, blood vessels, muscles, and joints of the hand, wrist, and arm. Reducing and controlling chainsaw vibrations are unlikely to be achievable without awareness of effective factors of it. So, the effects of various factors should be studied. It seems that, single cylinder engine and the interaction of the chain with wood can be the main reasons of chainsaw vibration. Therefore, in the current study the effects of engine rotary speed and wood type on the vibration acceleration of a common chainsaw have been investigated. In contrast to the previous studies, no-cutting condition as a control sample was added to experiments and the effects of cutting itself were evaluated. Experiments were also conducted in three different engine speeds to investigate the effects of interaction between wood species and engine speed.

Materials and Methods

The vibration acceleration was measured on three orthogonal axes on the front handle of Stihl-070 chainsaw. The measurements were conducted at three levels of engine speed (6000, 7720, and 8630 RPM) during four operations. The operations include cutting three types of Iranian woods (Beech, Hornbeam, and Alder) and no-cutting as a control sample. The experiments were conducted in split-factorial design where the operation was taken as main plot and different speeds and directions as factors. A single-axis piezoelectric accelerometer (VMI-192) was used to sense the vibration. Vibration signals were received and analyzed by a portable data acquisition system (Easy Viber). The RMS vibration acceleration at one-third octave frequency bands in the center frequency range between 6.3Hz to 1250Hz were calculated from acceleration-frequency vibration spectra. Then, the amounts of frequency-weighted vibration acceleration (a_{hw}) were computed based on international standards. SAS software was used to analyze the data statistically.

Results and Discussion

The results of ANOVA showed that the effect of operation on frequency-weighted acceleration was insignificant, but the effects of engine speed and vibration axis were significant at the 1% level. When the chainsaw was free of cutting, the vibration acceleration values were lower in lower frequencies and higher in higher frequencies compared to cutting wood operations. There was a significant difference between the vibration acceleration in 6000 RPM engine speed and other two speeds, but the differences between 7720 RPM and 8630 RPM engine speeds was insignificant. However, an increase in engine rotary speed increased the value of frequency-weighted vibration acceleration. The acceleration-frequency vibration spectra had peaks at frequencies in accordance with the engine combustion frequencies (100 Hz in 6000, 125 Hz in 7720, and 160 Hz in 8630). Maximum value of unweighted vibration acceleration was observed during no-cutting operations in 6000, 7720, and 8630 RPM engine speeds to be 77.2, 138.6, and 139.0 m s^{-2}, respectively. Vibration acceleration was highest along the X_h (perpendicular to the palm area) equal to 12.05 m.s^{-2} followed by Y_h axis (along the third metacarpal bone) with the value of 9.12 m s^{-2}. Altogether, the results of these tests indicated that the vibration level of employed chainsaw in this study is very higher than other machines has been investigated by other researchers.

Conclusions

The effects of wood species and engine speed on the hand-transmitted vibration of chainsaw were evaluated.

1- Ph.D. Student of Biosystems Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran
2- Professor of Mechanical Engineering of Agricultural Machinery, University of Tehran, Karaj, Iran
(*- Corresponding Author Email: masoudfeyzi@tabrizu.ac.ir)

The operation has not significantly affected the frequency-weighted vibration acceleration. However, cutting operations, increase and decrease the vibration acceleration values in lower and higher frequencies, respectively. The frequency-weighted vibration acceleration had higher values in higher engine speeds. Also, it is concluded that the risk of white finger syndrome among the operators of this type of chainsaw is very high.

Keywords: Chainsaw, Combustion, Frequency-weighted vibration acceleration, One-tired octave bands